

# 几种换能器的结构

## 一、深水空气背衬换能器

美国德克萨斯大学应用研究室研制了一种可在深水工作而不影响到声束指向性和效率的换能器，这是在过去试制的高效率换能器<sup>[1]</sup>的基础上发展起来的，这种通匹兹式结构的换能器可在1300米深的水中工作。测量表明，它的声源级有足够的稳定性，结构完整、密封良好。

振子的头部为一倒圆锥形铝块，它能起到改进匹配的作用，用高强度的钢垫圈做为节点固定元件、由它抵抗水的静压力。在头部与外壳之间用高强度的挠性圆环片来密封。图1给出了结构详图。

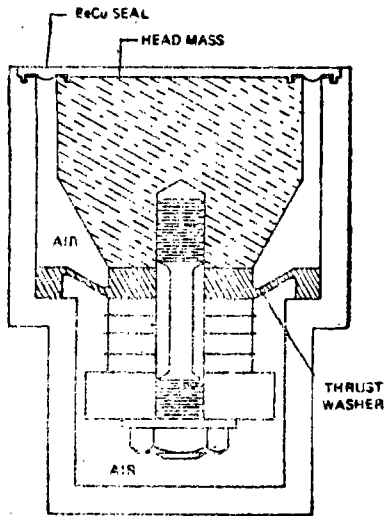


图1 振子结构的详图

在密封圆环片和头部的表面用聚氨酯窗做为保护层。活塞直径为3英寸，工作频率12.95千赫，声束宽度130°。密封圆环片是由厚为

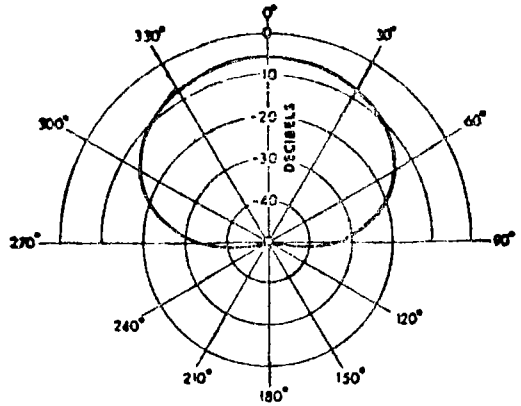


图2 振子指向性图

0.012英寸的铍铜成形的圆环，它架接在头部与外壳间的间隙之上。它应当对端头的振动不起到阻尼作用，因此保持了振子的高效率，铍铜挠性圆环片经过3小时的高温(650°F)固熔热处理，使之更为坚硬。该密封元件经过等效于1万英尺深的静水压力模型试验后，未见损坏。主要是从延长疲劳寿命的考虑而采用铍铜材料。

在节点处用工具钢制成的垫圈是主要的强度元件，它是一个圆锥状的薄圆环，上下两边缘均为厚圆环，通过加热处理达到罗克威尔硬度级45—50。

在实际输入1瓦功率时声源级为175 dB/ $\mu\text{Pa}$ ，为了与功率放大器的负载匹配，使用了电感调谐。换能器的效率达90%。声源级与指向性测量是在压力水槽中进行的，静水压力相当于3000英尺深，在水压作用下共振频率从13千赫降低至11.4千赫。

振子的中心螺杆对压电堆的压力为2500磅，空气背衬使得它在水中无后辐射，指向性图案与理论估算值很好地一致。

[1]Widner, M.W, JASA V. 67,

## 二、兆赫级微型水听器

微型探针式水听器在最近几年受到了极大的重视[1-5],因为它可以给出超声发射换能器辐射声场的空间和时间的 高度分辨率。有三种常用的探头:针式陶瓷探头,针式压电聚合物探头和压电聚合物膜片探头。头两种适用于可透入的介质的中心测量,虽然后者的频响较平,指向性与理论值接近,但其灵敏度较低。

使用陶瓷元件研制针式水听器时,元件本身就是对被测声场的一个最大障碍物。对元件几何形状的考虑是很重要的,因为,即使探头元件的尺寸为亚毫米量级,在大于10兆赫时,其尺寸可与波长相比拟。探头的元件是用专门设计的超声钻头切割的。由于其尺寸和脆性,元件要用特殊的方法来操作。此外,对元件的尺寸,几何形状的规则性以及电极表面的测量都应在成象分析仪所附有的显微镜下进行。这些操作的细则均在文献[6]中有所描述。

选用不锈钢和玻璃做为‘针’的材料,玻璃虽然易碎但它价廉并且可以经过加热拉成任意直径,有着很好的绝缘性,使用中遇到损坏尚可修复,但性能要变差。

探头的构造如图1所示,使用焊接半导体器件的焊机将一根黄金导线与陶瓷圆盘的一面相焊接,并将导线穿至玻璃管的另一端。

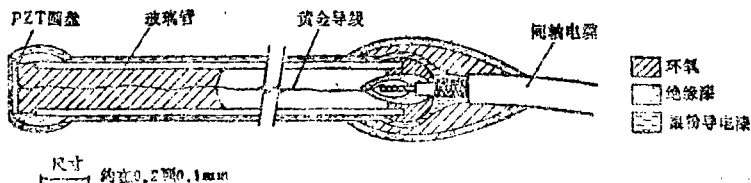


图1 水听器结构简图

从靠近圆盘的地方向管内吸入环氧树脂粘合剂,用牙科的工具将圆盘拨正,使之与管轴保持垂直。玻璃管内的环氧树脂的高度约2—4厘米,应使它的后表面所引起的声反射尽量的小。吸入环氧时应特别当心不使气泡吸入管内,特别是在圆盘附近。上述大部分操作是在显微镜下完成的,玻璃管的优点还在于透明,看得见。在圆盘周边以及管壁外侧均涂浸一层清漆。

黄金导线从管的另一端拉出,绕在低阻抗同轴电缆的芯线上,再用导电环氧使之固定牢靠,外边再涂以绝缘清漆,芯线及其绝缘体用不导电的环氧与玻璃管牢固地接好。在圆盘外表面和玻璃管的整个外表面涂有一层银粉导电漆,以使陶瓷片的外表面与同轴电缆的导线网相连。在玻璃管远离陶瓷片的一端,在金属网与导电漆连接处的周围用环氧树脂予以加固,再在外面涂以绝缘漆来保护。在制做过程中要不断地目视检查和绝缘检查,对装配好的每一探头在三天内每隔10小时做一次绝缘检查。

在制做探头的过程中,在下述三个阶段都要测量探头的电学连续性。测量时将探头浸入水槽,在槽底用一超声换能器产生声场,探头接收到的信号由示波器监视。如果无信号或信号过低,说明探头有损坏或接触不良。水槽尺寸为375×610×240毫米。所说的三个阶段为:(1)当圆盘安装到圆管上,在圆盘与圆管上均涂好导电漆之后;(2)当同轴电缆的芯线与黄金导线接好,并在此处用环氧包好之后;(3)当玻璃管外用导电漆从电学上与电缆屏蔽网接通后,在其外层未

涂保护漆之前。

表1、三批圆盘的尺寸

批号	直径 mm	材料*
1	0.592 ± 0.009	Pz24
2	0.837 ± 0.013	Pz24
3	0.876 ± 0.012	Pz26

\* 为丹麦哥本哈根 FerroPerm 公司产品

表2、压电材料参数

	发射系数 (CN <sup>-1</sup> )	接收系数 (VmN <sup>-1</sup> )	声速 ms <sup>-1</sup>	电介常数
Pz24	160 · 10 <sup>-12</sup>	35 · 10 <sup>-9</sup>	3035	500
Pz26	275 · 10 <sup>-12</sup>	25 · 10 <sup>-9</sup>	2815	1250

(丁东摘编自 Ultrasonics V.24 No.4, July p.216 1986)

### 参 考 文 献

- [1] Walton A.J.B. and Chivers R.C. The piezoelectric hydrophone for ultrasonic output assessment in The Evaluation and calibration of Ultrasonic Transducers (Ed.Silk M) IPC Science and Technology Press Guildford UK (1978)96—105
- [2] Wilson D.T Tancrell R.H. PVF<sub>2</sub> polymer microprobe Proc IEEE Ultrasonic Symp.(1979) 506 510
- [3] Filmore P.R. Aindow J.D. On the directivity of miniature ultrasonic ceramic hydrophones in Ultrasonics International 81 IPC Science and Technology Press Guildford UK(1981)110—115
- [4] Lewin P.A. and Chivers R.C. Toro miniature Ceramic Ultrasonic Probes.J.Phys.E.(1981) V.14 PP.1420—24.
- [5] De Reggi A.S. and Harris G.R. Polymer hydrophone Probes.Proc. IEEE Ultrasonics Symp. (1980)PP.598—599.
- [6] Filmore P.R. and Chivers.R.C. Procedures for the control Of miniature Ceramic ultrasonic element Production.J.Phys.E.(1982)V.15 1165-67.

## 三、圆锥反射镜式聚焦换能器

图1给出这种换能器的剖面图。圆锥接收器的角度为37.5°，锥口最大直径为15厘米。为了便于安装并改善噪信比，将PVDF薄片用环氧粘在铝制圆锥表面上，然后在PVDF的外表面蒸镀一层黄金做为激励电极。可用电感调谐其工作频率为4兆赫，将PVDF分割为8块，每一块扇面有单独的前置放大器。关于这个换能器的详细情况可参见文献(1)。

在圆锥的底下为一圆盘式发射阵，由五块等面积的PZT单元组成一凹面圆盘，直径为5厘米，频率为4兆赫。五块单元分别与五个微型脉冲发射—接收机连接，在 Taylor 等人的文献中对此机器有所描述〔2〕，而 Arditi 等对此圆盘阵有介绍〔3〕。

圆锥与圆盘阵的安装应使它们有共轴聚焦区，从圆盘的中心量起，共轴聚焦区位于9—17厘米处。应注意，聚焦声场划分为五个区域，每个区域相当于圆盘阵的一个预置聚焦长度，因此，欲获得一条完整的扫描线，则需要发射五个脉冲。如果将圆盘阵用

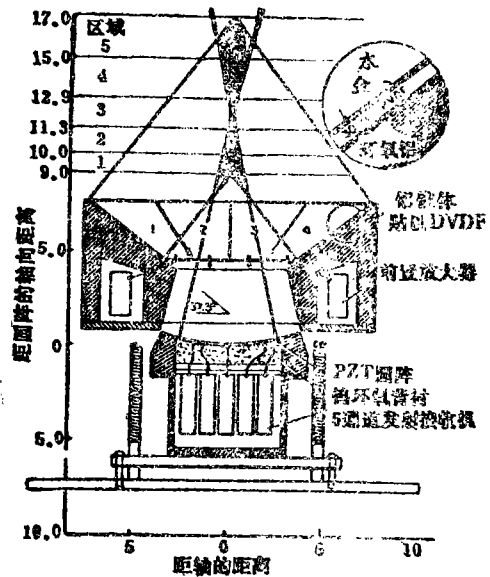


图1、圆锥/圆盘混合式换能器阵的剖面图，圆盘阵的五个单元在五个区域内形成聚焦。图中只画出四块圆锥接收器。

做动态聚焦接收器而圆锥面做为发射器，则需要的脉冲数减少为1。然而，我们尚未这么做。圆阵的聚焦长度/直径比，由区域1的 $f/1.8$ 至区域5的 $f/3.1$ 。阵的中心单元的作用如同通常的具有 $f$ /直径为5.7的聚焦换能器。

在图2中示出了一个实验性的反射镜式医用乳房自动扫描换能器[4]。在圆锥形反射镜内的上方和下方各安装一个凹面和圆盘形中心频率为4兆赫的PZT—5A换能器。位于上方的凹面换能器直径为5厘米，曲率半径为12.0厘米，应换能器分割为8块扇面，每一块与各自的发射、接收电路相连接。当8块扇面同时以发射状态工作时，其声场的聚焦系数为 $f = 2.4$ ，声场深度约为2厘米。在底部安装的圆盘换能器，外径为10厘米，也是分割成8块扇面，每块与各自的发射，接收电路相连，可以按照不同方式进行发射或接收。圆盘发射器所产生的平面波经过由铝制成的圆锥反射镜面的两次反射后，使声线形成一个 $30^\circ$ 复盖范围的锥形声束。反射镜的设计与安装应能使得锥形声束沿中心轴线形成一聚焦线，其长度约为8厘米。

下面介绍该聚焦系统的两种工作方式。

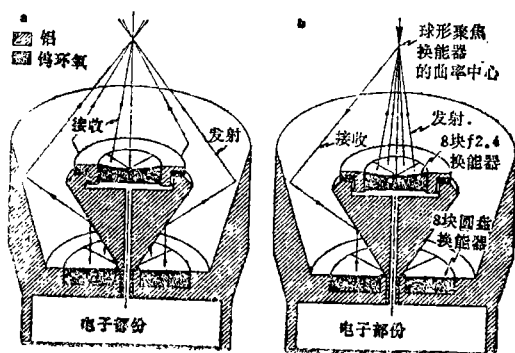


图2 在两种方式下工作的混合式换能器，由内外两个圆锥形镜面反射将平面圆盘的声束转换为 $30^\circ$ 的锥形波来。

- (a) 方式 I 圆盘换能器的各扇面同时发射脉冲得到圆锥声束球面接收
- (b) 方式 II 球扇面同时发射，圆锥各扇面接收。

由图2a给出的是第一种方式(Mode I)，圆盘换能器的8块扇面同时发射，模拟一个完整的锥形声束；而接收则由8块球形扇面分别接收，用型号为Biomation8100(Gould Inc Santa Clara CA)的瞬态记录器(Transient recorder)将收到的信号数字化[5]，然后输至PDP11/55计算机处理。在第二种工作方式中(Mode II)如图2b所示，由所有的球形扇面同时发射脉冲声，而由每一个圆盘扇面换能器接收。表1表2给出这两种工作方式的细分类。整个换能器与计算机控制的水平线性驱动控制系统相连接，该驱动系统可以在正交的两个方向上以2.5微米的步距运动。被成象的样品置于一个充满除气水的水槽中，並位于聚焦换能器的上方。

表1  $30^\circ$ 圆锥发射，单个球形扇面接收 (方式 I)

方式	球形扇面接收处理	说 明
I a	射频信号相加	通常处理
I b	解调后扇面信号相加	不计入相位的球形扇面信号相加 (球形PISA)
I c	射频扇面信号相乘	球形相乘处理(球形MP)
I d	解调后扇面信号相乘	不计入相位的球形扇面信号相乘 (球形PISM)

表2 全部球形发射，单个圆锥扇面接收 (方式 II)

方式	圆锥扇面R x 接收处理	说 明
I a	射频相加	通常处理、结果与Ia同
I b	解调后扇面信号相加	圆锥形PISA
I c	射频后扇面信号相乘	圆锥形MP
I d	解调后扇面信号相乘	圆锥形PISM

### 参 考 文 献

- [1] Foster F.S. et al Breast imaging with a conical transducer/annular array hybrid scanner *Ultrasound in Med. and Biol.* V.9 No.2 P.151—154(1983)

- (2) Taylor W.B. et al An efficient low voltage pulser/receiver for ultrasound imaging Proc 25th Annual Meeting AIUM P.203.(1980)
- (3) Arditi M. et al Annular array system for high resolution breast imaging Ultrasonic Imaging V.4 No.1 1—31(1982)
- (4) Kerr A.T. et al Speckle reduction in Pulse echo imaging using phase insensitive and phase sensitive signal processing techniques ultrasonic Imaging V.8.No.1 pp.11—28(1986)
- (5) Elsey.R.K. Accurate measurements with the Biomation 8100 transient recorder ultrasonic Materials characterization Edited by H.Berger and M.Linzer NBS/NSF Special Publication 596 pp.311—317(1980)

#### 四、切变波换能器

为了测量海底沉积物的声学特性，研制了一种产生与接收切变波的换能器，它的主要部件是一个弯曲双压电陶瓷片。这里介绍的是一种改进型的，由两片长条状的压电陶瓷薄片(例如 $2.54 \times 0.64 \times 0.05\text{cm}$ )沿长度方向牢固地粘结一起组成，粘结时要使两片的极化方向相反。当施以驱动电压后，弯曲振动片随驱动电压而沿长度做弯曲振动(见图1)。被驱动的两薄片的长度振动模式具有 $180^\circ$ 的相位差，两片之间由于长度的微小差异引起了整个复合元件的弯曲振动。如果将此元件置于某一介质之内，则此机械振动将传输给介质中的粒子，使粒子产生垂直于元件长度的振动。元件两端的振动是同相的，中点的振动与两端的相差 $180^\circ$ 。如果元件所置入的介质具有一定的刚性，则介质的横向(或称切向)振动将以切变波方式沿垂直于粒子振动的方向(即平行于元件长度的方向)传播。

与人们想象的相反，只有一小部分的能量可以沿着垂直于元件长度方向传播，因为在远场中粒子振动在四个互相垂直的方向上彼此抵消。因此，最后形成的是在元件的两端产生横向传播的切变波。振动频率与元件长

度的平方成反比。

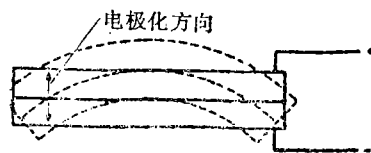


图1 弯曲振动元件的振动

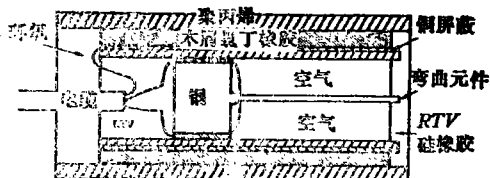


图2 切变波换能器的剖面图

利用上述弯曲振动元件设计成的切波换能器如图2所示，这是一个单面发射的圆柱形换能器，其中的压电元件为一复合弯曲振动长条。这种设计使弯曲振动元件保持高度的顺从性，并通过硅橡胶表面与沉积物介质有良好的耦合，使横向振动传输至介质中去。由于使用了聚丙烯、木屑氯丁橡胶和硅橡胶等吸声材料，减少了在换能器内由压缩波产生的干涉效应。铜的屏蔽可消除电感应，允许发射—接收器的距离较近一些。

(丁东摘编)

#### 参考文献

- (1) Shirley D.J. An improved shear wave transducer JASA.V.63.No.5 P.1643. 1978
- (2) Brunson B.A Johnson.R.K.Laboratory measurements of shear wave attenuation in saturated sand. JASA.68(5) Nov. P.1371 1980

#### 五、点接触式检测声发射换能器的改进

至今，用于检测声发射的压电换能器都

是在共振频率工作的。这些换能器对高频表面波的复杂响应会改变换能器接收信号的波形，从而增加分析的困难，Proctor对以喇叭形元件为主体的宽带压电换能器进行了详细的讨论，这种换能器对低于1兆赫的频率有较为平坦的响应曲线，常作为校准其它换能器的标准换能器。但是，因为这种换能器是靠重力的作用来和被侧面接触的，只能用来探测水平面。

利用一保护片保护换能器免受损伤，这是本文的改进之处。若该片是导体，则换能器可用来探测绝缘试块。使保护片在换能器上施加微力，互相靠紧或把换能器固定在保护片上就可以在注意方向上进行探测。由于该片足够薄，它对声传输的影响可忽略不计。

在Proctor的换能器基础上我们设计了如图1所示的带有铜保护片的换能器。片的厚度为 $90 \pm 30$ 微米。将铜片置于乙烯基衬垫上，小心地将压电喇叭(PZT 5H)的尖端压向铜片就可使铜片具有和喇叭尖端同样的形

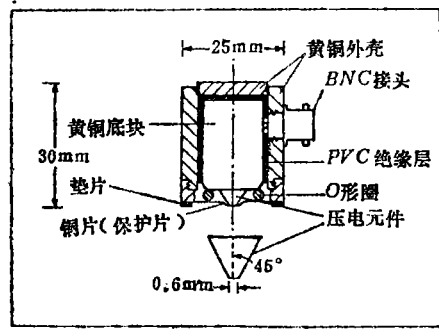


图1、换能计设计原型

状。所以，铜片在喇叭尖处有一微小凹陷，这就使得换能器以点接触方式工作而不是拾取挠曲膜的振动。在使用了保护片后，通过比较换能器有铜片和无铜片时的响应可知，保护片的存在使灵敏度大致提高三倍，而且频率响应在1兆赫以下直至甚低的频率，基本上是平整的。

(左建国摘译自NDT Internat April 1986 P.91-93)

## 西太平洋声学会议将于88年11月在上海召开

西太平洋声学会议以“发展西太平洋地区的声学”为宗旨，第一届会议于1983年在新加坡召开，第二届会议于1985年在香港召开，第三届将于1988年11月在上海召开，会议简称为WESTPAC III。

在香港举办的第二届会议上，有来自

中、日、印度、澳大利亚、香港、新加坡、南朝鲜以及美、加、英等国家和地区的科学家宣读了100篇论文报告。目前，第三届在上海召开的会议正在筹备之中，请读者注意随后将发出的征文通知。

编辑部